N° 11F0019M au catalogue — N° 372
ISSN 1205-9161
ISBN 978-0-660-03963-3

Direction des études analytiques : documents de recherche

Comptabilisation du capital naturel dans la productivité du secteur de l'extraction minière et de l'extraction de pétrole et de gaz

par Pat Adams et Weimin Wang

Date de diffusion : le 14 décembre 2015

Statistique Canada Statistics Canada

Canada

Comment obtenir d'autres renseignements

Pour toute demande de renseignements au sujet de ce produit ou sur l'ensemble des données et des services de Statistique Canada, visiter notre site Web à www.statcan.gc.ca.

Vous pouvez également communiquer avec nous par :

Courriel à STATCAN.infostats-infostats.STATCAN@canada.ca

Téléphone entre 8 h 30 et 16 h 30 du lundi au vendredi aux numéros sans frais suivants :

- Service de renseignements statistiques 1-800-263-1136
- Service national d'appareils de télécommunications pour les malentendants 1-800-363-7629
- Télécopieur 1-877-287-4369

Programme des services de dépôt

- Service de renseignements 1-800-635-7943
- Télécopieur 1-800-565-7757

Normes de service à la clientèle

Statistique Canada s'engage à fournir à ses clients des services rapides, fiables et courtois. À cet égard, notre organisme s'est doté de normes de service à la clientèle que les employés observent. Pour obtenir une copie de ces normes de service, veuillez communiquer avec Statistique Canada au numéro sans frais 1-800-263-1136. Les normes de service sont aussi publiées sur le site www.statcan.gc.ca sous « Contactez-nous » > « Normes de service à la clientèle ».

Note de reconnaissance

Le succès du système statistique du Canada repose sur un partenariat bien établi entre Statistique Canada et la population du Canada, les entreprises, les administrations et les autres organismes. Sans cette collaboration et cette bonne volonté, il serait impossible de produire des statistiques exactes et actuelles.

Signes conventionnels dans les tableaux

Les signes conventionnels suivants sont employés dans les publications de Statistique Canada :

.	indisponible pour toute période de référence
..	indisponible pour une période de référence précise
...	n'ayant pas lieu de figurer
0	zéro absolu ou valeur arrondie à zéro
0^s	valeur arrondie à 0 (zéro) là où il y a une distinction importante entre le zéro absolu et la valeur arrondie
^{p}	provisoire
^{r}	révisé
x	confidentiel en vertu des dispositions de la *Loi sur la statistique*
^{E}	à utiliser avec prudence
F	trop peu fiable pour être publié
*	valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence (p<0,05)

Publication autorisée par le ministre responsable de Statistique Canada

© Ministre de l'Industrie, 2015

Tous droits réservés. L'utilisation de la présente publication est assujettie aux modalités de l'entente de licence ouverte de Statistique Canada.

Une version HTML **est aussi disponible.**

This publication is also available in English.

Comptabilisation du capital naturel dans la productivité du secteur de l'extraction minière et de l'extraction de pétrole et de gaz

par

Pat Adams, Division de la statistique des entreprises, Statistique Canada
Weimin Wang, Division de l'analyse économique, Statistique Canada

11F0019M N° 372
ISSN 1205-9161
ISBN 978-0-660-03963-3

Décembre 2015

Direction des études analytiques
Documents de recherche

La série de documents de recherche de la Direction des études analytiques permet de faire connaître, avant leur publication, les travaux de recherche effectués par le personnel de la Direction des études analytiques, les boursiers invités et les universitaires associés. Cette série a pour but de favoriser la discussion sur divers sujets, notamment le travail, la dynamique des entreprises, les pensions, l'agriculture, la mortalité, la langue, l'immigration, l'informatique statistique et la simulation. Le lecteur est invité à faire part aux auteurs de ses commentaires et suggestions.

Les documents de la série sont distribués aux établissements de recherche et aux bibliothèques spécialisées. On peut accéder gratuitement à ces documents à partir d'Internet, à l'adresse www.statcan.gc.ca.

Tout en respectant la politique, les lignes directrices et les principes généraux du *Manuel de la politique administrative du Conseil du Trésor* relatifs à l'emploi du féminin dans les écrits gouvernementaux, dans les textes qui traitent de collectivités, l'emploi du masculin générique est utilisé pour des raisons stylistiques et d'économie d'espace.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier John Baldwin, Wulong Gu et Michael Wright de Statistique Canada; Pierre-Alain Pionnier de l'OCDE; Michael Smedes du bureau de la statistique de l'Australie; Vernon Topp de la commission de la productivité de l'Australie; Erik Veldhuizen de Statistique Pays-Bas; et Carl Obst du Groupe de Londres pour leurs commentaires et suggestions utiles. Ils tiennent également à remercier les participants à la conférence de la Société canadienne de l'économie écologique de 2013, qui s'est tenue à l'Université York à Toronto; ainsi que les participants au North American Productivity Workshop VIII de 2014, qui a eu lieu à Ottawa-Gatineau, pour leurs discussions enrichissantes. Toute erreur est attribuable aux auteurs.

Table des matières

Résumé **5**

Sommaire **6**

1 Introduction **7**

2 Cadre de comptabilisation des ressources souterraines **9**

2.1 Évaluation de la rente des ressources 10

2.1.1 Rente des ressources au niveau des produits 11

2.1.2 Rente des ressources au niveau de l'industrie 12

2.1.3 Étalonnage de la rente des ressources 13

2.1.4 Décomposition de la rente des ressources 14

2.2 Évaluation de la réserve de ressources souterraines 14

2.3 Mesures au niveau de l'industrie 17

3 Résultats empiriques pour l'industrie canadienne de l'extraction de pétrole et de gaz **18**

3.1 Réserve de ressources et extraction des ressources 19

3.2 Rente des ressources et valeur de la réserve 20

3.3 Stock du capital naturel et facteur capital naturel 21

3.4 Croissance de la productivité multifactorielle 22

3.5 Contribution du capital naturel à la croissance de la valeur ajoutée 23

4 Conclusion **25**

5 Annexe **26**

Bibliographie **27**

Résumé

Le présent document propose un cadre comptable de la croissance où les ressources minérales et énergétiques souterraines sont reconnues comme étant un facteur capital naturel dans le processus de production. Il s'agit de la première étude en ce genre au Canada. Le revenu attribuable aux ressources souterraines, ou rente des ressources, est estimé comme plus-value après comptabilisation de tous les coûts d'extraction et du rendement normal du capital produit. La valeur d'une réserve de ressources est ensuite estimée comme valeur actuelle des futures rentes de ressources générées par une extraction efficace de la réserve. Enfin, avec l'extraction comme flux de services observés du capital naturel, on peut réévaluer la croissance de la productivité multifactorielle (PMF) et les autres sources de croissance économique en mettant à jour la répartition du revenu entre tous les facteurs, puis en estimant la contribution à la croissance découlant des fluctuations de la valeur du facteur capital naturel.

Le présent cadre est ensuite appliqué au secteur canadien de l'extraction de pétrole et de gaz. Les résultats empiriques indiquent qu'au Canada, l'ajout des ressources souterraines à la production en tant que capital naturel réduit la croissance négative de la PMF sur la période à l'étude. Dans l'ensemble, l'inclusion des ressources souterraines fait baisser la PMF de 1,5 % par an sur la période allant de 1981 à 2009, comparativement à un recul de 2,2 % lorsque ces ressources sont exclues. Durant la même période, la croissance de la valeur ajoutée réelle de cette industrie a été de 2,3 % par an, dont environ 0,3 point de pourcentage ou 15 % provient du capital naturel.

Mots-clés : Ressource naturelle, capital naturel, rente des ressources, productivité

Sommaire

Le présent document propose un cadre comptable de la croissance où les ressources minérales et énergétiques souterraines sont reconnues comme étant un facteur capital naturel dans la production. Ainsi, le revenu attribuable au capital naturel et la valeur des réserves de ressources souterraines sont estimés, tandis que la croissance de la productivité multifactorielle (PMF) et les sources de croissance économique sont réévaluées. Il s'agit de la première étude en ce genre au Canada.

Tout d'abord, les auteurs estiment le revenu attribuable au capital naturel ou rente des ressources. La rente des ressources est définie comme étant la plus-value après comptabilisation de tous les coûts d'extraction et du rendement normal du capital produit. Pour calculer la rente des ressources, il faut utiliser un taux de rendement du capital produit afin d'estimer la valeur des services tirée du capital naturel dans le processus de production. Les auteurs utilisent la moyenne à long terme du taux de rendement interne du capital produit par toutes les industries commerciales non minières pour calculer le rendement normal du capital produit par une industrie minière. Ce chiffre est tiré du taux de rendement interne figurant dans les Comptes canadiens de productivité. Ainsi, le cadre comptable de la croissance utilisé ici demeure conforme au reste des estimations de la PMF d'autres industries, car il utilise toujours les taux de rendement internes pour évaluer le coût du capital et suit ce qu'on pourrait appeler une approche « endogène » fondée sur les données disponibles sur les taux de rendement. Dans ce système, la marge bénéficiaire excédentaire de toutes les industries commerciales est nulle.

On peut alors utiliser les rentes des ressources mesurées pour estimer la valeur des réserves de ressources selon l'approche du revenu. Plus précisément, la valeur d'une réserve de ressources correspond à la valeur actuelle des rentes des ressources qu'on prévoit tirer de l'extraction de la réserve. Il faut choisir un taux d'actualisation à cette fin. Les auteurs ont adopté la règle de Hotelling à cet égard. Cette règle prédit que, dans le modèle d'extraction optimal, le prix fictif d'une réserve de ressources s'accroît au taux d'intérêt nominal sur un actif numéraire. Selon la règle de Hotelling, la valeur d'une réserve de ressources est simplement le produit de la rente des ressources actuelle et de la durée de vie de la réserve calculée au moyen du volume d'extraction actuel.

L'extraction physique d'une réserve de ressources est utilisée comme facteur capital naturel dans l'extraction de cette ressource. Les facteurs capitaux naturels au niveau des actifs sont ensuite regroupés dans une mesure au niveau de l'industrie. Étant donné la rente des ressources et le facteur capital naturel, on peut alors estimer la croissance de la PMF au niveau de l'industrie et les sources de la croissance de la valeur ajoutée réelle. L'ajout du capital naturel au processus de production aurait une incidence positive sur la croissance de la PMF si le facteur capital naturel croît à un rythme plus lent que le capital produit, et vice versa. De même, l'incidence de ces changements augmente lorsque la part du revenu de la rente des ressources est plus élevée, et inversement.

Ce cadre comptable de la croissance est appliqué à l'industrie canadienne de l'extraction de pétrole et de gaz. Les résultats empiriques indiquent qu'au Canada, l'ajout des ressources souterraines à la production en tant que capital naturel réduit la croissance négative de la PMF sur la période à l'étude. Dans l'ensemble, l'inclusion des ressources souterraines fait baisser la PMF de 1,5 % par an sur la période allant de 1981 à 2009, comparativement à un recul de 2,2 % lorsque ces ressources sont exclues. Durant la même période, la croissance de la valeur ajoutée réelle de cette industrie a été de 2,3 % par an, dont environ 0,3 point de pourcentage ou 15 % provient du capital naturel.

1 Introduction

Le présent document comporte deux objectifs. Le premier est d'estimer la rente des ressources générée par l'extraction des ressources minérales et énergétiques souterraines, ainsi que la valeur monétaire associée des réserves de ressources[1] dans les industries minières canadiennes — appelée « valeur du capital naturel » ci-après. Le second est de traiter les ressources souterraines mêmes comme un facteur dans l'extraction des ressources. Pour ce faire, il faut estimer le flux de services provenant du facteur capital naturel et l'ajouter à la valeur des facteurs travail et capital produit dans l'équation standard d'estimation de la productivité multifactorielle (PMF). On obtient ainsi une mesure plus complète de la croissance de la PMF ainsi qu'une estimation de l'importance des ressources souterraines comme source de croissance économique et de la productivité dans le secteur canadien des ressources minérales et énergétiques.

Les ressources minérales et énergétiques souterraines sont traitées en tant qu'actifs non produits et non financiers dans le Système de comptabilité nationale (SCN). Par souci d'uniformité, les dépenses d'exploration et d'aménagement sont capitalisées en tant qu'actifs du capital produit dans le SCN. Ainsi, la valeur des ressources souterraines comme actifs non produits reflète uniquement la valeur de la rareté des ressources.

Dans les Comptes canadiens de productivité (CCP) actuels, la croissance de la PMF est la différence entre la croissance de la production et la croissance moyenne pondérée de tous les facteurs, dont le capital provenant des investissements dans les actifs fixes. Les actifs fixes inclus dans les comptes pour les industries de l'extraction minière et de l'extraction de pétrole et de gaz comprennent les investissements dans les machines et le matériel, les structures et les ouvrages techniques tels que les puits de mine, ainsi que les dépenses d'exploration et d'aménagement. Le capital naturel, c'est-à-dire la valeur des ressources, n'est pas inclus.

Ce document propose un moyen d'estimer la croissance de la PMF lorsque le coût de l'utilisation du capital naturel est inclus. Expressément, la rente des ressources souterraines est calculée comme une plus-value après comptabilisation de tous les coûts d'extraction et du rendement normal du capital produit. La valeur d'une réserve de ressources correspond alors à la somme de la valeur actuelle des futures rentes des ressources qu'on prévoit extraire sur la durée de vie de la réserve.

Ce traitement revient à reconnaître que la valeur de tout le capital produit utilisé dans les industries des minéraux n'est pas égale au coût des investissements. On suppose normalement que les marchés qui fonctionnent bien équilibrent le coût du capital et sa valeur, c'est-à-dire la valeur actuelle du flux de gains produits par le capital. Il arrive parfois que cela ne se produise pas en raison de la rareté des actifs ou des imperfections des marchés. Le cas échéant, le capital excédant celui tiré des investissements est utilisé dans l'industrie. Il s'agit de ce qui se

1. Cette valeur sera calculée à l'intérieur du domaine des actifs du Système de comptabilité nationale (SCN). Selon le SCN 2008 (Commission européenne et coll., 2009, article 12.17), le domaine des actifs d'une ressource souterraine se limite à la réserve prouvée, définie comme étant le stock qu'il est techniquement possible et économiquement rentable d'exploiter. Les données sur les réserves par produit utilisées dans ce document sont tirées des tableaux CANSIM 153-0012 à 153-0015 de Statistique Canada. Bien que différents termes soient employés pour décrire les réserves dans ces tableaux, comme « réserves établies » pour le pétrole, le gaz et le soufre, « réserves récupérables » pour le charbon et l'uranium, et « réserves prouvées et probables » pour toutes les autres ressources, ils désignent tous les « réserves développées » définies comme étant les réserves susceptibles d'être récupérées avec les installations existantes (puits ou mines), en utilisant les méthodes d'exploitation existantes, et dans la conjoncture économique actuelle (Statistique Canada, 2006, encadré 3.1). Comme on peut le voir, les « réserves prouvées » et les « réserves développées » correspondent en principe au même concept.

passe ici, particulièrement dans le secteur des ressources où les fonds de dotation ne sont pas affectés par l'activité humaine — du moins, pas à court terme.

Deux paramètres importants sont requis pour l'évaluation des ressources souterraines. L'un est le taux de rendement du capital produit qui sera utilisé pour calculer la rente des ressources; l'autre est le taux d'actualisation nominal qui sera utilisé pour calculer la valeur actualisée nette (VAN) d'une réserve de ressources. Le Système de comptabilité économique et environnementale (SCEE) (Nations Unies et coll., 2014, p. 145) recommande que le taux de rendement du capital produit soit égal au taux d'actualisation et suggère d'utiliser un taux d'intérêt multisectoriel tiré du rendement des obligations d'État comme taux de rendement à utiliser pour le capital produit et comme taux d'actualisation nominal. Cela revient à choisir un taux de rendement exogène arbitraire pour estimer la valeur des services du capital produit dans le processus d'estimation de la PMF, pratique que Statistique Canada n'a pas adoptée dans ses comptes de productivité pour deux raisons. Premièrement, le taux de rendement requis est le taux dont les marchés de capitaux auraient besoin pour couvrir le coût du capital. Pour utiliser un taux d'intérêt sur des obligations d'État, il faut sous-estimer le coût du capital du secteur des entreprises, puisqu'il implique un plus grand risque. Deuxièmement, l'utilisation de ce taux génère des estimations de l'excédent d'exploitation en sus des besoins des marchés de capitaux qui sont difficiles à interpréter. Cette méthode produit des valeurs de l'excédent dans toutes les industries autres que de ressources qui devraient aussi être intégrées au Programme de la productivité multifactorielle afin de cadrer avec l'approche adoptée ici.

Les auteurs ont retenu une hypothèse conforme à la pratique en vigueur dans les CCP. Ces derniers calculent le taux de rendement interne du capital produit à partir des estimations de l'excédent et du stock du capital produit au niveau de l'industrie. On suppose qu'à long terme, le capital produit rapporte en moyenne le même taux de rendement dans l'industrie minière et dans l'ensemble des industries commerciales non minières[2]. Le taux de rendement interne du capital produit pour l'ensemble des industries commerciales non minières peut alors être utilisé pour calculer le coût des services de capital pour le capital produit dans l'industrie minière. De son côté, la rente des ressources d'une industrie minière peut correspondre au reste de l'excédent, estimé à partir du SCN, moins les services du capital produit utilisés dans l'industrie. Cette approche est conforme à celle suivie dans les CCP, et la marge bénéficiaire reste nulle pour toutes les industries sauf celles qui utilisent le capital naturel.

Après avoir calculé la rente des ressources comme excédent, on estime la valeur du capital naturel qui est la source de cet excédent en déterminant la VAN de l'excédent. Pour ce faire, on utilise les réserves de ressources estimatives pour évaluer les années de vie restantes aux taux d'extraction actuels, puis on calcule la VAN de l'excédent. Le paramètre essentiel à cette analyse est le taux d'actualisation.

Dans ce document, on se fonde sur la règle de Hotelling pour calculer la VAN des réserves de ressources souterraines. Cette règle définit le modèle d'extraction optimal des ressources naturelles non renouvelables et prédit que le prix net (rente unitaire) d'une ressource naturelle non renouvelable augmentera au taux d'intérêt nominal que rapporterait un actif approprié[3]. Selon la règle de Hotelling, le taux d'actualisation réel devient nul et la VAN correspondante d'une réserve de ressources souterraines refléterait sa valeur pour une société, si la réserve est extraite de manière efficiente.

D'autres possibilités ont été suggérées pour le taux d'actualisation. Par exemple, le SCEE (Nations Unies et coll., 2014) suppose que la rente unitaire des ressources augmentera au rythme de l'inflation générale. Selon cette hypothèse, le taux d'actualisation utilisé réel serait

2. Baldwin et Gu (2007) montrent que la moyenne provenant des CCP s'approche du coût du capital tiré du taux à long terme des obligations des sociétés et du taux de rendement des actions canadiennes.
3. Pour un résumé de la documentation sur le rythme d'augmentation des prix des ressources, voir Miller et Upton (1985), Livernois (2009) et Kronenberg (2008).

égal au taux d'intérêt réel. Dans ce cas-ci, la valeur d'une réserve de ressources serait beaucoup plus faible que celle calculée selon la règle de Hotelling. Le document contient aussi une estimation de la valeur du capital naturel qui utilise cette hypothèse à des fins de comparaison.

Le reste du document est organisé comme suit : dans la section 2, un cadre de comptabilisation des ressources souterraines en production et de l'accumulation du patrimoine est proposé; dans la section 3, les résultats empiriques pour les industries minières canadiennes sont décrits; puis dans la section 4, la conclusion est présentée.

2 Cadre de comptabilisation des ressources souterraines

Pour isoler leur contribution à la production, les ressources souterraines sont traitées comme un facteur de production distinct de la même manière que le travail et le capital produit. Kendrick (1976) recommandait que les mesures du capital comprennent les machines et le matériel, les structures, les terrains, les stocks et le capital en ressources naturelles. Selon cette recommandation, une fonction de production neutre de Hicks de l'extraction des ressources souterraines peut s'écrire comme suit :

$$Y = Af(L, Z^K, Z^N), \tag{1}$$

où l'extrant (Y) est fondé sur la valeur ajoutée et une fonction des facteurs travail (L), capital produit (Z^K) et capital naturel (Z^N), majorés de la productivité (A). Pour que la fonction de production soit bien définie, on suppose que les produits marginaux de chaque facteur augmentent ($\partial f/\partial L \geq 0,\ \partial f/\partial Z^K \geq 0,\ \partial f/\partial Z^N \geq 0$) à un taux décroissant ($\partial^2 f/\partial L^2 \leq 0,\ \partial^2 f/\partial (Z^K)^2 \leq 0,\ \partial^2 f/\partial (Z^N)^2 \leq 0$) et que tous les produits intermarginaux augmentent ($\partial^2 f/\partial L \partial Z^K \geq 0,\ \partial^2 f/\partial L \partial Z^N \geq 0,\ \partial^2 f/\partial Z^K \partial Z^N \geq 0,\ \partial^2 f/\partial L \partial Z^K \partial Z^N \geq 0$).

L'équation (1) peut être appliquée pour l'extraction d'une seule ou de plusieurs ressources souterraines. La différenciation logarithmique de (1) donne

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \alpha_L \frac{\dot{L}}{L} + \alpha_K \frac{\dot{Z}^K}{Z^K} + \alpha_N \frac{\dot{Z}^N}{Z^N} + \frac{\dot{A}}{A}, \tag{2}$$

où α_L, α_K et α_N désignent les élasticités de la production relatives au travail, au capital produit et au capital naturel, respectivement. Ces élasticités ne sont pas observables, mais peuvent être calculées par imposition des conditions d'optimisation de sorte que la valeur des produits marginaux de chaque facteur de production est égale à ses coûts d'usage. Dans l'hypothèse d'une concurrence parfaite et étant donné un prix de production (P^Y) et des prix des facteurs de production (c^J), les élasticités de la production peuvent se mesurer comme suit :

$$P^Y \frac{\partial Y}{\partial J} = c^J \quad \Rightarrow \quad \alpha_J = \frac{\partial \ln(Y)}{\partial \ln(J)} = \frac{J}{Y}\frac{\partial Y}{\partial J} = \frac{c^J J}{P^Y Y} = s_J, \quad \text{pour } J = L, Z^K, Z^N. \tag{3}$$

Le revenu et les dépenses d'extraction peuvent être mis en correspondance dans l'hypothèse de rendements d'échelle constants, c.-à-d.

$$P^Y Y = \sum_J c^J J = wH + dP^K K + \theta P^N N, \tag{4}$$

où le coût de la main-d'œuvre est égal au nombre d'heures travaillées (H) multiplié par le taux salarial nominal (w); le coût du capital produit est égal à la valeur nominale de son stock ($P^K K$) multipliée par son coût d'usage unitaire (c); et le coût d'usage du capital naturel est égal à la valeur nominale de son stock ($P^N N$) multipliée par le paramètre rente des ressources (θ). Les équations (3) et (4) montrent que les élasticités de la production en (2) peuvent être remplacées par les parts correspondantes des facteurs (s_L, s_K, et s_N) dans la valeur ajoutée totale, c.-à-d.

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = s_L \frac{\dot{L}}{L} + s_K \frac{\dot{Z}^K}{Z^K} + s_N \frac{\dot{Z}^N}{Z^N} + \frac{\dot{A}}{A} \tag{5}$$

Pour utiliser l'équation (5) dans la comptabilisation de la croissance, il faut estimer la croissance du facteur capital naturel ainsi que la rente des ressources associée à l'utilisation du capital naturel.

2.1 Évaluation de la rente des ressources

Dans ce document, nous utilisons la méthode de la valeur résiduelle[4] pour obtenir la rente des ressources du capital naturel. À partir de l'équation (4), la rente des ressources (R) générée par l'extraction d'une ressource souterraine est calculée de façon résiduelle comme suit :

$$R = \theta P^N N = P^Y Y - wH - cP^K K = OS - cP^K K \tag{6}$$

Les données requises pour calculer la rente des ressources générée par l'extraction d'une seule ressource souterraine comprennent l'excédent brut d'exploitation correspondant (OS) calculé en soustrayant le coût de la main-d'œuvre, la valeur nominale du stock du capital produit et le coût d'usage unitaire du capital produit de la valeur ajoutée nominale.

Le coût d'usage unitaire du capital produit, qui est égal à la somme du taux de rendement et du taux d'amortissement du capital produit, doit être exogène aux industries minières pour que la rente des ressources puisse être calculée de façon résiduelle. Il n'existe pas de consensus dans la documentation sur le choix du taux de rendement exogène du capital produit[5]. Un des choix proposés est le coût d'emprunt sur les marchés financiers, qui reflète généralement la compensation aux prêteurs et le risque que les prêts ne soient pas remboursés. Par exemple, un taux sans risque (taux de référence interbancaire), ajouté à une prime de risque de 1,5 %, est utilisé comme taux de rendement exogène du capital produit dans les comptes nationaux néerlandais pour le calcul de la rente des ressources minières (Veldhuizen et coll., 2012). Un autre exemple est l'approche proposée dans une étude transnationale de Brandt, Schreyer et Zipperer (2013) pour le compte de l'Organisation de coopération et de développement économiques, où les auteurs utilisent la moyenne des coûts d'extraction des différents pays pour calculer la rente des ressources du capital naturel de façon exogène. Baldwin et Gu (2007) utilisent une moyenne pondérée des coûts réels de la dette à long terme et le taux de rendement des actions canadiennes pour comparer cette approche à l'estimation endogène, dans le calcul de la croissance des services de capital et de la PMF au Canada. Ils concluent que les deux approches sont relativement semblables pour le Canada.

Il y a plusieurs questions liées à l'utilisation d'un taux de rendement exogène du capital produit fondé sur les données des marchés financiers. Premièrement, l'utilisation d'un taux de rendement exogène fixe entraîne une grande volatilité dans la rente des ressources mesurée

4. Le SCEE (Nations Unies et coll., 2014) examine différentes méthodes d'estimation de la rente des ressources et recommande d'utiliser la méthode de la valeur résiduelle.
5. Le SCEE (Nations Unies et coll., 2014) recommande d'utiliser les taux réels à long terme des obligations d'État lorsque des taux de rendement appropriés spécifiques à une industrie ne sont pas disponibles, comme c'est le cas dans de nombreux pays.

et, parfois, une rente des ressources négative qui pourrait ne pas répondre aux attentes à long terme, qui sont pertinentes pour le calcul du coût d'usage du capital. Deuxièmement, il est difficile de calculer un taux variable à partir des données sur les marchés financiers qui correspondent aux attentes à long terme, car les fluctuations des marchés financiers à court terme ne reflètent pas nécessairement les attentes à long terme. Troisièmement, un taux de rendement obtenu à partir des données sur les marchés financiers est habituellement une mesure après impôt et doit être converti en mesure avant impôt pour éviter de surestimer le rente des ressources. Enfin, il est à noter qu'aux fins du présent document, les estimations du secteur minier doivent concorder avec celles des autres industries. Les revenus et les coûts de l'industrie pourraient ne pas être égaux ailleurs lorsqu'un taux de rendement exogène est utilisé, et un « bénéfice résiduel » pourrait être généré dans les industries non minières. Bien que le « bénéfice résiduel » soit considéré comme la rente des ressources dans une industrie minière, il est plus difficile de l'expliquer dans les autres industries, sauf par des écarts à court terme par rapport à l'équilibre des marchés, ce qui crée du bruit blanc nuitio dans l'interprétation des estimations pour les utilisateurs.

Pour surmonter ces problèmes, nous décrivons ici un moyen de diviser les excédents d'exploitation entre le rendement du capital produit et le rendement du capital naturel (rente des ressources) autre que ceux suggérés par le SCEE. Plus précisément, les taux de rendement internes du capital produit sont ajustés de manière à ce que le capital produit d'une industrie minière rapporte en moyenne le même taux de rendement que celui du secteur commercial non minier sur une longue période.

3.1.1 Rente des ressources au niveau des produits

Les données au niveau de l'industrie à partir desquelles la croissance de la PMF est estimée sont plus agrégées que les données au niveau des produits consignées dans les Comptes de l'environnement de Statistique Canada, et chaque industrie minière à ce niveau exploite de multiples ressources estimées séparément dans le Système des comptes de l'environnement et des ressources du Canada. Ce système contient des données plus détaillées au niveau des produits, mais celles-ci ne sont pas entièrement conciliables avec les comptes de l'industrie sur lesquels se fondent les estimations de la PMF. Aux fins du calcul de la rente des ressources au niveau de l'industrie qui est utilisée dans les CICP, l'excédent brut d'exploitation et la valeur nominale du stock du capital produit au niveau des produits sont étalonnés en fonction des données au niveau de l'industrie.

Une fois l'étalonnage terminé, nous calculons les taux de rendement internes du capital produit pour les industries minières au niveau des produits et les taux ajustés correspondants. Au niveau des produits, il est difficile d'obtenir des données sur le capital produit par type d'actif et les paramètres fiscaux connexes. Ainsi, les taux de rendement internes du capital produit sont calculés avant déduction de l'impôt et de l'amortissement et il n'y a pas de données détaillées sur les actifs. Expressément, le taux de rendement interne brut du capital produit pour le produit i et l'industrie j est défini comme suit :

$$r_{ij} = OS_{ij} / \left(P_{ij}^{K} K_{ij} \right) \tag{7}$$

La rente des ressources au niveau des produits d'une industrie minière est calculée comme suit[8] :

$$R_{ij} = OS_{ij} - \bar{r}_{ij} P_{ij}^{K} K_{ij}, \quad \text{avec } \bar{r}_{ij} = r_{ij} \left(\bar{r}_{ij} / \bar{r}_{ij} \right). \tag{8}$$

8. Une solution de rechange à l'équation (8) est de remplacer r_{ij} par $\bar{r}_{ij}$ ou ses moyennes mobiles sur une certaine période.

où $\overline{r}_{b}$ est la moyenne d'échantillon du taux de rendement interne brut du capital produit pour le secteur commercial non minier, et $\overline{r}_{ij}$ est la moyenne pour l'extraction du produit i dans l'industrie j.

2.1.2 Rente des ressources au niveau de l'industrie

Plus de données sont disponibles au niveau de l'industrie, ce qui permet d'estimer le taux de rendement interne du capital produit après impôt. Selon la formule de calcul du coût d'usage pour le capital produit mise au point par Christensen et Jorgenson (1969), le taux de rendement interne du capital produit dans une industrie (r_{ij}) peut être estimé comme suit :

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k} (u_{ijk} K_{ijk} + p_{k,t-1} T_{ijk} K_{ijk} \pi_k - p_k T_{ijk} K_{ijk} \delta_k - p_{k,t} K_{ijk} \phi_k)}{\sum_{k} p_{k,t-1} T_{ijk} K_{ijk}}, \quad T_{ijk} = \frac{1 - u_i z_{ijk} - ITC_{ijk}}{1 - u_i} \qquad (3)$$

Les variables propres à un actif utilisées en (3) comprennent le coût d'usage du capital produit (u_{ij}), le stock du capital produit (K_{ij}), le prix de l'actif (p_{k}), le taux d'amortissement (δ_{k}), les gains en capital (π_{k}), la valeur actuelle des déductions pour amortissement aux fins de l'impôt sur un investissement d'un dollar (z_{ij}) et le taux du crédit d'impôt à l'investissement (ITC_{ij}). D'autres variables sont le taux effectif des impôts fonciers (ϕ) et le taux d'imposition du revenu des sociétés (u). Nous utilisons alors l'équation (3) pour calculer les moyennes d'échantillon du taux de rendement interne du capital produit pour le secteur commercial non minier ($\overline{r}_b$) et une industrie minière (j) :

$$\overline{r}_{b} = \sum_{t=1}^{n} r_{bt} \Big/ n, \quad \overline{r}_{ij} = \sum_{t=1}^{n} r_{ijt} \Big/ n$$

Ces moyennes d'échantillon peuvent raisonnablement être liées aux attentes sur la même période. On s'attend habituellement à ce que $\overline{r}_{ij} > \overline{r}_{b}$, car $\overline{r}_{ij}$ comprend le rendement du capital produit et du capital naturel. Le cas échéant, on peut supposer que le capital produit rapporte le même taux de rendement en moyenne sur la période étudiée dans les industries minières que dans le secteur commercial non minier[7]. Les taux de rendement internes du capital produit dans les industries minières avec $\overline{r}_{ij} > \overline{r}_{b}$ sont ensuite corrigés du ratio des deux moyennes d'échantillon. Cependant, il peut arriver que les données réelles donnent $\overline{r}_{ij} < \overline{r}_{b}$ dans l'extraction de certaines ressources souterraines. Lorsque cela se produit, la rente des

7. En général, le taux de rendement prévu d'un investissement doit être le même pour différents projets ou différentes industries après ajustement pour les risques spécifiques à un projet ou à une industrie. Sur le plan empirique, certains investissements, particulièrement les investissements en actifs incorporels, sont rarement pris en compte dans la mesure actuelle du stock de capital. De plus, les risques propres à un projet ou à une industrie sont souvent différents. Résultat : les taux mesurés de rendement du stock de capital sur une longue période ne sont pas nécessairement les mêmes dans toutes les industries. Cependant, les preuves empiriques fournies par Baldwin et Gu (2007) montrent que le taux de rendement interne moyen à long terme du capital dans l'ensemble du secteur canadien des entreprises est hautement comparable aux taux d'intérêt moyens pondérés à long terme sur la dette et les capitaux propres sur les marchés financiers canadiens, ce qui suggère que la couverture actuelle du stock de capital au Canada pourrait ne pas poser de problème en ce qui concerne le taux de rendement global du capital. Pour une industrie particulière comme l'industrie minière, le taux de rendement du capital peut différer en cas de disproportion majeure entre l'investissement non mesuré et les risques propres à l'industrie et ceux associés au secteur commercial dans son ensemble. Le cas échéant, il faudrait aussi modifier le taux de rendement exogène du capital utilisé pour une industrie particulière afin de tenir compte de cette disparité.

ressources dans ces industries est nulle. Pour les industries où $\bar{r}_i < \bar{r}_b$, la correction se fait comme suit[8] :

$$\tilde{r}_{it} = r_{it} \cdot \frac{\bar{r}_b}{\bar{r}_i} \quad \text{si} \quad \bar{r}_i < \bar{r}_b \tag{10}$$

Pour une industrie minière où $\bar{r}_i < \bar{r}_b$, la correction apportée par l'équation (10) ne modifie pas les fluctuations chronologiques du taux de rendement interne du capital produit (r_{it}), mais elle permet de s'assurer que la moyenne d'échantillon du taux de rendement corrigé du capital produit dans l'industrie minière est la même que dans le secteur commercial non minier, c.-à-d.

$$\text{Moyenne}(\tilde{r}_i) = \sum_{t=1}^{n}\left(r_{it} \cdot \frac{\bar{r}_b}{\bar{r}_i}\right) \Big/ n = \frac{\bar{r}_b}{\bar{r}_i}\sum_{t=1}^{n} r_{it} \Big/ n = \bar{r}_b$$

De plus, les taux de rendement interne du capital produit obtenus à partir de l'équation (10) sont externes à l'industrie minière d'intérêt, car l'équation utilise les données provenant d'autres industries. Cependant, seules les données brutes des comptes nationaux sont utilisées.

Les rentes des ressources dans une industrie minière où $\bar{r}_i < \bar{r}_b$ sont ensuite calculées de façon résiduelle par soustraction du rendement du capital produit calculé à l'aide des taux de rendement corrigés, c.-à-d.

$$R_{it} = GOS_{it} - \sum_{k}\left[T_{ik}K_{ik}\left(p_{it}\tilde{r}_{it} + p_{it}\delta_{k} - (p_{it} - p_{it-1})\right) + p_{it}K_{ik}\delta_{k}\right] \quad \text{si} \quad \bar{r}_i < \bar{r} \tag{11}$$

2.1.3 Étalonnage de la rente des ressources

Étant donné les limites des données au niveau des produits, l'estimation de la rente des ressources au niveau de l'industrie est généralement plus fiable lorsque les rentes des ressources au niveau des produits sont toutes positives. On étalonne alors la rente des ressources au niveau des produits en utilisant la rente des ressources au niveau de l'industrie comme total de contrôle, c.-à-d.

$$\tilde{R}_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sum_{j} R_{ij}} R_{i}, \quad \text{pour le produit } j \ (\in \text{industrie } i) \tag{12}$$

Cependant, lorsque la rente des ressources au niveau de l'industrie est nulle ou très faible, elle est recalculée comme somme des rentes des ressources au niveau des produits[9], c.-à-d.

8. Une solution de rechange à l'équation (10) est de remplacer r_{it} par $\bar{r}_{bt}$, ou ses moyennes mobiles sur une certaine période.

$$R_{..} = \sum_{...} R_{...} \tag{13}$$

Dans ce document, la rente des ressources générée par l'extraction d'une ressource souterraine désigne le coût d'usage ou le service du capital de cet actif du capital naturel. Il s'agit de ce qu'il faudrait payer pour louer l'actif pendant un an[10].

2.1.4 Décomposition de la rente des ressources

Soit D l'extraction physique d'un actif souterrain et P^{R} le coût d'usage unitaire du capital naturel ou le prix net de la ressource extraite à un moment donné. Nous avons alors

$$R = P^{R} D. \tag{14}$$

Les dépenses d'exploration et d'aménagement ont été capitalisées sous forme de capital produit dans le SCN, ce qui implique que leur rendement a été déduit dans le calcul de la rente des ressources. En conséquence, la rente unitaire des ressources (P^{R}) reflète uniquement la valeur d'une ressource souterraine découlant de sa rareté et de la qualité du gisement[11].

Comme le coût d'usage du capital produit, la rente des ressources peut aussi être divisée entre le coût d'épuisement et le rendement du capital naturel. Supposons que P^{N}, δ^{N} et r^{N} désignent respectivement le prix fictif, le taux d'épuisement et le taux de rendement du capital naturel. La rente des ressources ou le coût d'usage du capital naturel peut alors s'écrire coût

$$P^{R} D = (\delta^{N} + r^{N}) P^{N} N = \underbrace{(P^{N} D)}_{\text{coût d'épuisement}} + \underbrace{(P^{R} - P^{N}) D}_{\text{rendement du capital naturel}} \quad \text{avec } \delta^{N} = D/N. \tag{15}$$

2.2 Évaluation de la réserve de ressources souterraines

Comme il est souvent difficile d'obtenir des prix du marché pour les réserves de ressources souterraines[12], nous utilisons ici la VAN du flux des rentes de ressources naturelles[13]. La méthode de la VAN évalue une réserve de ressources d'un point de vue *ex-ante*. Elle convertit les flux prévus de rentes des ressources en valeur actuelle d'une réserve de ressources. Soit

9. Cette approche ascendante est supérieure à une approche descendante lorsque des données sont disponibles au niveau des produits. Par exemple, nous supposons que, dans une industrie d'extraction de multiples ressources, la moyenne d'échantillon du taux de rendement interne brut du capital est faible pour une des ressources extraites, mais élevée pour toutes les autres. Le taux de rendement interne au niveau de l'industrie peut être assez faible pour que la rente des ressources calculée directement à partir des données au niveau de l'industrie devienne nulle simplement en raison du faible taux de rendement interne associé à l'une des ressources extraites. En pareil cas, l'approche descendante produit une rente nulle pour toutes les ressources extraites, tandis qu'une approche ascendante se traduit par une rente nulle pour la ressource au taux de rendement interne faible et par des rentes positives pour les autres ressources aux taux de rendement internes élevés.
10. Le coût d'usage de la réserve est la valeur de l'excédent découlant de son utilisation. Dans le cas du capital physique, cela suppose un amortissement de l'actif et un coût d'opportunité du capital, lesquels sont combinés dans l'excédent réellement tiré de l'actif du capital naturel.
11. Soit C le coût total de l'extraction d'une ressource, y compris le coût de la main-d'œuvre, le capital produit et les intrants intermédiaires, et P le prix de la ressource sur le marché. La rente unitaire des ressources est égale au prix du marché, moins le coût marginal de l'extraction ($P^{R} = P - \partial C / \partial D$) qui s'accroît avec le degré de rareté et la qualité du gisement de la ressource.
12. Les ressources souterraines sont négociées directement — en termes de cessions de terrains — et indirectement par l'achat d'entreprises. La valeur des ressources transférée est parfois mentionnée ou calculée par la presse financière, mais il n'existe pas de base de données suffisamment importante qui nous permettrait d'utiliser ces estimations ici.
13. Le SCEE (Nations Unies et coll., 2014) recommande la méthode de la VAN pour évaluer les réserves de ressources souterraines.

$E_t(d_{t+\tau})$ le taux de rendement nominal prévu d'un actif numéraire utilisé pour actualiser les futurs flux de revenu, $E_t(\rho_{t+\tau})$ le taux de croissance prévu de la rente unitaire des ressources, et T_t la durée de vie de la réserve d'une ressource souterraine à un moment donné. La VAN_t de la réserve d'une ressource souterraine devient

$$VAN_a = P_a^N N_a = \sum_{\tau=1}^{T_a} \frac{E_t\left(P_{a+\tau}^D\right) D_{a+\tau}}{\prod_{s=1}^{\tau}\left(1+E_t\left(d_{t+s}\right)\right)} = \sum_{\tau=1}^{T_a} \frac{\prod_{s=1}^{\tau}\left(1+E_t\left(\rho_{t+s}\right)\right) P_a^D D_{a+\tau}}{\prod_{s=1}^{\tau}\left(1+E_t\left(d_{t+s}\right)\right)}. \tag{16}$$

Pour simplifier la notation, nous remplaçons les taux d'actualisation propres à une période et les taux de croissance de la rente unitaire des ressources en (16) par leurs moyennes annuelles sur la durée de vie de la réserve, ce qui donne

$$VAN_a = P_a^N N_a = P_a^D \sum_{\tau=1}^{T_a} D_{a+\tau} \left(\frac{1+\rho_t}{1+d_t}\right)^{\tau}, \tag{17}$$

où

$$\rho_t = Moyenne_{t+1}^{T_a}\left(E_t \rho_{t+\tau}\right), \text{ et } d_t = Moyenne_{t+1}^{T_a}\left(E_t d_{t+\tau}\right). \tag{18}$$

La règle de Hotelling[14] suggère que la trajectoire temporelle optimale sur les plans social et économique de l'extraction d'une ressource non renouvelable est celui où le prix de la ressource, moins les coûts d'extraction (rente unitaire des ressources), est censé croître au taux de rendement de l'investissement (taux d'actualisation). C'est-à-dire que

$$\rho_t = d_t. \tag{19}$$

Pour comprendre la proposition, nous supposons que l'agent représentatif choisit une trajectoire d'extraction qui maximise la VAN d'une réserve de ressources. L'optimisation peut s'écrire

$$\begin{aligned} &\underset{\{D_{a+\tau}\}_{\tau=1}^{T_a}}{Max}\left(VAN_a = P_a^D \sum_{\tau=1}^{T_a} D_{a+\tau}\left(\frac{1+\rho_t}{1+d_t}\right)^{\tau}\right) \\ &s.t. \quad \sum_{\tau=1}^{T_a} D_{a+\tau} = N_a. \end{aligned} \tag{20}$$

La fonction lagrangienne pour ce problème peut s'écrire

$$\Lambda_a = P_a^D \sum_{\tau=1}^{T_a} D_{a+\tau}\left(\frac{1+\rho_t}{1+d_t}\right)^{\tau} - \lambda_a\left(N_a - \sum_{\tau=1}^{T_a} D_{a+\tau}\right). \tag{21}$$

Nous pouvons calculer les conditions de premier ordre en prenant la dérivée de l'équation (21), en ce qui concerne l'extraction physique dans chaque période, c.-à-d.

14 La règle de Hotelling stipule la condition pour la trajectoire temporelle de l'extraction d'une ressource non renouvelable qui maximise la valeur du stock de la ressource. Pour obtenir plus de détails, voir Hotelling (1931) et Solow (1974).

$$\frac{\partial \Lambda_{it}}{\partial D_{it+\tau}} = P_{it}^{D}\left(\frac{1+\rho_t}{1+d_t}\right)^{\tau} - \lambda_{it} = 0, \quad \text{pour} \quad \tau = 1,\ldots,T_{it}. \tag{22}$$

Il est nécessaire que $\rho_t = d_t$ pour que l'équation (22) tienne. Sinon, l'extraction actuelle n'est pas optimale, car le bénéfice marginal de l'extraction (P^D) et la valeur marginale de l'avoir (λ) ne sont pas égaux. C'est ce qu'on appelle la règle de Hotelling. En remplaçant $\rho_t = d_t$ dans les équations (22), (21) et (17), nous obtenons

$$\begin{aligned} &\lambda_{it} = P_{it}^{N} = P_{it}^{D} \\ &VAN_{it}^{*} = P_{it}^{N} N_{it} = P_{it}^{D} \sum_{\tau=1}^{T_{it}} D_{it+\tau}^{*} = P_{it}^{D} R_{it} N_{it} = R_{it} \hat{T}_{it}, \quad \text{avec } \hat{T}_{it} \equiv \frac{N_{it}}{D_{it}}. \end{aligned} \tag{23}$$

Ainsi, dans le modèle d'extraction optimal, le prix fictif d'une réserve de ressources est égal à la rente unitaire des ressources, et les deux termes de l'équation sont censés croître au taux d'intérêt nominal d'un actif numéraire. La VAN d'une réserve de ressources correspond alors à la rente des ressources actuelle, multipliée par le nombre de périodes d'extraction au rythme actuel.

La règle de Hotelling suppose également que le taux de rendement du capital naturel est nul. On peut le voir en utilisant l'équation (15), lorsque le prix fictif d'une réserve de ressources (P^N) est égal à la rente unitaire des ressources (P^D). Les avantages d'aujourd'hui (rentes des ressources) reflètent donc pleinement le coût des futures pertes (coûts d'épuisement).

Dans la formule ci-dessus, la règle de Hotelling a été utilisée pour définir le modèle d'extraction optimal des ressources naturelles non renouvelables afin de fournir un cadre conceptuel et théorique permettant de comprendre et d'analyser l'amortissement des ressources naturelles non renouvelables.

À l'appui de l'utilisation qui est faite ici de la règle, Miller et Upton (1985) ont constaté que, pour un échantillon de sociétés américaines d'extraction de pétrole et de gaz, les estimations de la valeur des réserves, calculée selon la règle de Hotelling, représentent une partie importante de leur valeur sur le marché. Miller et Upton (1985) ont aussi comparé les résultats obtenus avec la règle de Hotelling à ceux de deux solutions de rechange largement citées et publiquement disponibles : dans leurs évaluations, la Securities and Exchange Commission et Herold indiquaient que la règle de Hotelling donnait de meilleurs résultats dans l'évaluation des réserves de ressources. Cette conclusion appuie l'utilisation qui est faite ici de la règle de Hotelling. Elle suggère que des attentes sont formées afin de déterminer les valeurs estimées ici, selon une approche qui ressemble à la règle de Hotelling.

Il reste que, selon Livernois (2009), les études empiriques de la trajectoire réelle des prix trouvent des preuves imparfaites que la trajectoire réelle des prix des ressources suit la règle de Hotelling. Mais la question n'est pas de savoir si la trajectoire suit exactement la règle de Hotelling. Il s'agit plutôt de déterminer si les valeurs prévues selon une approche ressemblant à cette règle concordent avec les valeurs créées sur les marchés, ce qui est le critère conforme au sens de la mesure dans le SCN et le Programme de la productivité multifactorielle.

Kronenberg (2008) a examiné les facteurs susceptibles d'entraîner des écarts des résultats, dans le monde réel, par rapport à ceux obtenus par application de la règle de Hotelling. Une catégorie de ces facteurs se rapporte aux hypothèses associées à la règle de Hotelling, comme la concurrence parfaite, le coût d'extraction nul, l'absence de progrès technique, le stock fixe de réserves et une conjoncture constante du marché. Ces hypothèses peuvent être relâchées.

C'est ce que nous faisons dans ce document en calculant la valeur d'une ressource par mise à jour constante des informations sur le coût d'extraction, les stocks en réserve et la conjoncture du marché, ce qui implique que le modèle d'extraction optimal correspondant d'une réserve de ressources change avec le temps. L'autre catégorie de ces facteurs est de nature institutionnelle, comme des droits de propriété incertains et l'interaction stratégique entre les fournisseurs et les consommateurs. Bien que ces facteurs institutionnels puissent entraîner une défaillance du marché, de sorte que la trajectoire d'extraction réelle n'est pas optimale sur le plan social, l'évaluation d'une réserve de ressources le long de sa trajectoire optimale d'extraction donne la valeur pouvant être tirée de l'extraction efficiente d'une réserve de ressources[15].

2.3 Mesures au niveau de l'industrie

Jusqu'ici, la quantité et le prix de chaque actif de capital naturel ont été calculés. Nous utilisons ensuite la formule de Fisher pour agréger les mesures de quantité et de prix au niveau de l'industrie à partir de celles de chaque actif. Pour le stock de capital naturel d'une industrie minière, les indices de quantité et de prix sont calculés comme suit :

$$FQI_t^N = \frac{N_t}{N_{t-1}} = \sqrt{\frac{\sum_i P_{it-1}^N N_{it}}{\sum_i P_{it-1}^N N_{it-1}} \frac{\sum_i P_{it}^N N_{it}}{\sum_i P_{it}^N N_{it-1}}}, \quad FPI_t^N = \frac{P_t^N}{P_{t-1}^N} = \sqrt{\frac{\sum_i P_{it}^N N_{it-1}}{\sum_i P_{it-1}^N N_{it-1}} \frac{\sum_i P_{it}^N N_{it}}{\sum_i P_{it-1}^N N_{it}}}. \tag{24}$$

Dans le cas de l'industrie de l'extraction minière, les extractions physiques sont les flux de services provenant du capital naturel. Les indices de quantité et de prix au niveau de l'industrie du facteur capital naturel peuvent alors être estimés comme suit :

$$FQI_t^{Z^N} = \frac{Z_t^N}{Z_{t-1}^N} = \sqrt{\frac{\sum_i P_{it-1}^D D_{it}}{\sum_i P_{it-1}^D D_{it-1}} \frac{\sum_i P_{it}^D D_{it}}{\sum_i P_{it}^D D_{it-1}}}, \quad FPI_t^{Z^N} = \frac{P_t^{Z^N}}{P_{t-1}^{Z^N}} = \sqrt{\frac{\sum_i P_{it}^D D_{it-1}}{\sum_i P_{it-1}^D D_{it-1}} \frac{\sum_i P_{it}^D D_{it}}{\sum_i P_{it-1}^D D_{it}}}. \tag{25}$$

L'approximation discrète de la formule de comptabilisation de la croissance peut être tirée de l'équation (2) comme suit :

$$\begin{aligned} &\Delta \ln(Y_t) = \overline{s}_t^L \Delta \ln(L_t) + \overline{s}_t^K \Delta \ln(Z_t^K) + \overline{s}_t^N \Delta \ln(Z_t^N) + \Delta \ln(PMF_t) \\ &\text{avec } \overline{s}_t^L = (w_{t-1} L_{t-1}/Y_{t-1} + w_t L_t/Y_t)/2, \; s_t^N = (R_{t-1}/Y_{t-1} + R_t/Y_t)/2, \; \overline{s}_t^K = 1 - \overline{s}_t^L - s_t^N. \end{aligned} \tag{26}$$

Nous pouvons alors estimer la croissance de la PMF de façon résiduelle. Il est à noter que l'analyse explicative de la croissance de (26) ne tient pas compte de l'incidence des changements dans la qualité du capital naturel, de sorte que la croissance dérivée de la PMF jusqu'ici renvoie uniquement à la mesure non corrigée pour la qualité (du capital naturel)[16]. De plus, l'incidence de l'ajout du capital naturel, comme facteur de production, sur la croissance de la PMF dépend de la croissance relative du capital produit et du capital naturel. Il fait augmenter

15. Un arbitre a souligné que la règle de Hotelling pourrait ne pas tenir sur le plan social pour une autre raison. En effet, cette règle suppose l'existence d'un agent représentatif. L'hypothèse pourrait ne pas tenir, car les sociétés ne versent pas toutes des redevances au propriétaire des ressources. Étant donné cette hétérogénéité des sociétés minières, le modèle d'extraction d'agrégats d'une réserve de ressources n'est pas nécessairement optimal sur le plan social, même lorsque chaque modèle d'extraction est optimal pour chaque société minière. En conséquence, la règle de Hotelling pourrait ne pas être vérifiée exactement. Les travaux de Miller et Upton (1985) suggèrent toutefois qu'elle peut être vérifiée approximativement.

16. Les entreprises doivent creuser plus profondément ou retirer plus de déchets pour extraire la même quantité de minerais ou d'énergie en raison d'une baisse de la qualité des ressources naturelles. Le progrès technique serait donc sous-estimé par la croissance de la PMF non corrigée pour la qualité. Comme la correction pour la qualité peut nécessiter d'importants travaux de développement de données, la question sera examinée dans un article distinct.

la croissance de la PMF lorsque la croissance du capital naturel est plus faible que celle du capital produit et vice versa.

3 Résultats empiriques pour l'industrie canadienne de l'extraction de pétrole et de gaz

Dans cette section, le cadre comptable de la croissance élaboré dans la section précédente est appliqué à l'industrie canadienne de l'extraction de pétrole et de gaz en tant qu'analyse expérimentale. Les données au niveau des produits (au niveau des actifs) sur l'excédent brut d'exploitation et le stock nominal du capital produit pour le secteur des minéraux sont compilées par la Division des comptes et de la statistique de l'environnement de Statistique Canada à partir de différentes sources[17]. Ces données sont d'abord étalonnées au niveau de l'industrie, puis les données étalonnées sont utilisées pour calculer les rentes des ressources au niveau des produits. Les mesures quantitatives du stock, de l'épuisement et de l'ajout de chaque réserve de ressources souterraines sont tirées des tableaux CANSIM 153-0012 à 153-0015. Ces données sont combinées aux estimations des rentes des ressources pour calculer la valeur de la réserve au niveau des produits et les indices de quantité et de prix du stock de capital naturel et du facteur capital naturel au niveau de l'industrie. Les données au niveau de l'industrie sur la valeur ajoutée, la rémunération de la main-d'œuvre, la main-d'œuvre et le capital produit sont tirées de la base de données KLEMS (capital, main-d'oeuvre, énergie, matériel et services) utilisée dans les CCP, tandis que les données sur le stock de capital produit nominal à base géométrique au niveau de l'industrie proviennent du tableau CANSIM 031-0002[18]. Les données sur l'excédent brut d'exploitation et le stock de capital nominal aux niveaux de l'industrie et du produit sont utilisées pour estimer les rentes des ressources aux niveaux du produit et de l'industrie. Nous utilisons un taux d'actualisation réel nul tout au long de notre évaluation expérimentale. Comme le facteur capital naturel est mesuré par le volume d'extraction physique, le choix du taux d'actualisation n'a aucune incidence sur la mesure de la croissance de la PMF. Cependant, la valeur mesurée du stock de capital naturel est beaucoup plus grande sous la règle de Hotelling (taux d'actualisation réel de zéro) qu'avec un taux d'actualisation de 4 %[19]. Ce taux d'actualisation est actuellement utilisé dans le Système des comptes de l'environnement et des ressources du Canada (SCERC) ainsi que dans de nombreux autres organismes statistiques nationaux.

L'extraction de pétrole et de gaz suppose l'extraction de gaz naturel, de pétrole brut et de bitume brut. Les liquides de gaz naturel sont inclus dans la catégorie d'actif du gaz naturel[20]. Nous présentons d'abord les estimations du volume de la réserve et de la quantité extraite pour chaque type de ressources, puis les estimations de la valeur nominale de la réserve et de la rente des ressources extraites. Les estimations du volume des réserves de différents types de ressources sont ensuite agrégées pour obtenir le stock total de capital naturel, tandis que les

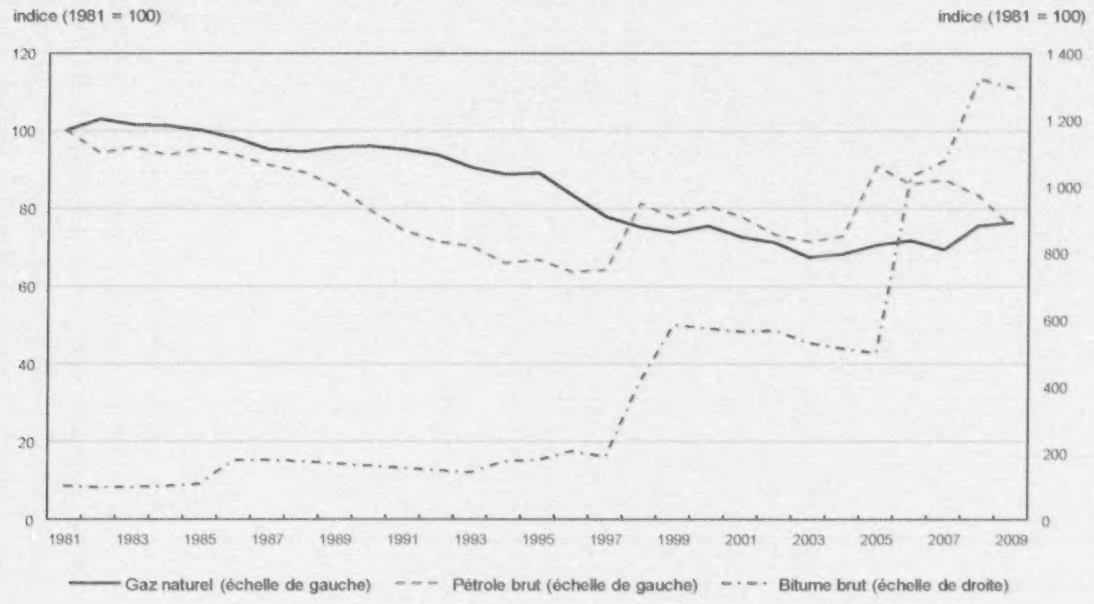
17. Les données sur le stock de capital par industrie et par produit ne comprennent ni les terrains ni les stocks en raison du manque de mesures ou d'une qualité insuffisante.
18. Le secteur des entreprises n'est pas défini de la même façon dans les CCP et dans le tableau CANSIM 031-0002. Dans les CCP, le secteur des entreprises combine les établissements commerciaux correspondant aux codes 11 à 81 du Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), tandis que le tableau CANSIM 031-0002 couvre toutes les industries sauf les administrations publiques (SCIAN 91), les services d'enseignement (SCIAN 61) et les soins de santé et l'assistance sociale (SCIAN 62). Afin d'uniformiser les deux ensembles de données sur le secteur des entreprises, nous soustrayons ici les services d'enseignement (SCIAN 61) et les soins de santé et l'assistance sociale (SCIAN 62) des données sur le secteur des entreprises des CCP. Une fois l'ajustement effectué, la différence de couverture entre les deux ensembles de données est minime.
19. Pour les données sur le pétrole et le gaz, voir le tableau 1 de l'annexe.
20. Le volume des liquides de gaz naturel correspond à environ 1/600 du volume de gaz dans des conditions atmosphériques. Nous appliquons ce facteur de conversion pour que le volume des liquides de gaz naturel et le volume de gaz naturel normal soient additifs.

quantités extraites sont regroupées afin d'obtenir le flux de services pour le capital naturel (ou le facteur capital naturel) à partir des poids fondés sur les rentes des ressources. Enfin, nous présentons la contribution du capital naturel à la production et son effet sur les estimations de la PMF.

3.1 Réserve de ressources et extraction des ressources

La quantité de bitume brut dans la réserve établie de pétrole et de gaz au Canada a beaucoup augmenté. Comme le montre le graphique 1, la réserve établie de gaz naturel et de pétrole brut a affiché une légère tendance à la baisse entre 1981 et 2009 et a diminué d'environ 25 % sur l'ensemble de la période étudiée. Parallèlement, la réserve établie de bitume brut a augmenté de façon marquée, particulièrement entre 1997 et 1999 et après 2005. Elle était plus de 12 fois plus élevée, ce qui représente une hausse d'environ 9,6 % par an en moyenne.

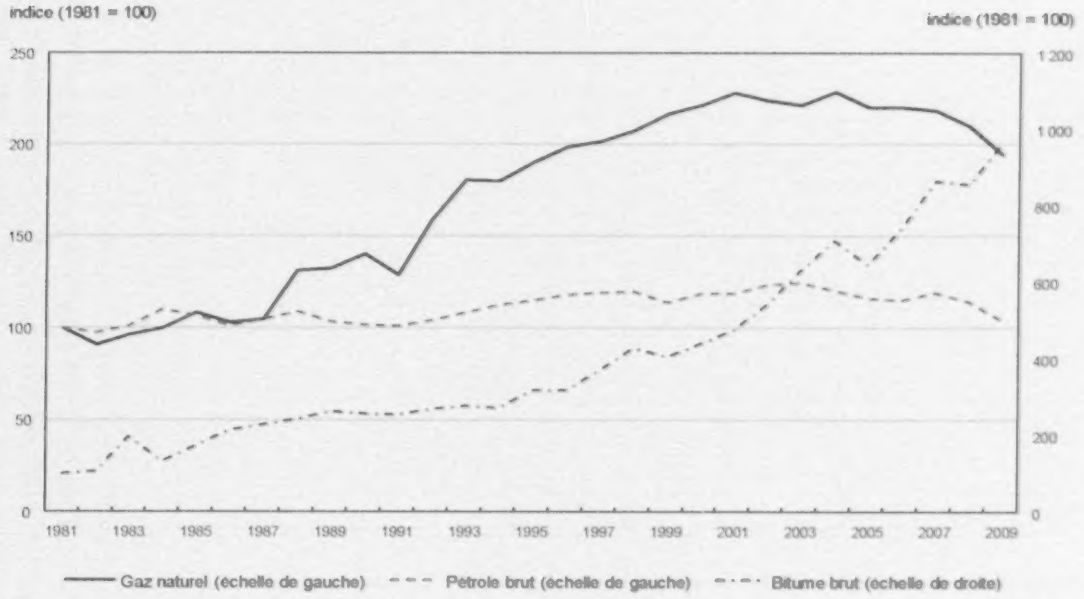
Graphique 1
Tendance des réserves établies de pétrole et de gaz, 1981 à 2009



Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données des tableaux CANSIM 153-0013 à 153-0015.

Contrairement à la réserve établie au fil du temps, la quantité extraite des trois ressources pétrolières et gazières a augmenté, mais à des rythmes assez différents (graphique 2). Entre 1981 et 2009, la quantité extraite a crû d'environ 2,4 % par an pour le gaz naturel, 0,1 % par an pour le pétrole brut et 8,4 % par an pour le bitume brut.

Graphique 2
Tendance de l'extraction des réserves de pétrole et de gaz, 1981 à 2009

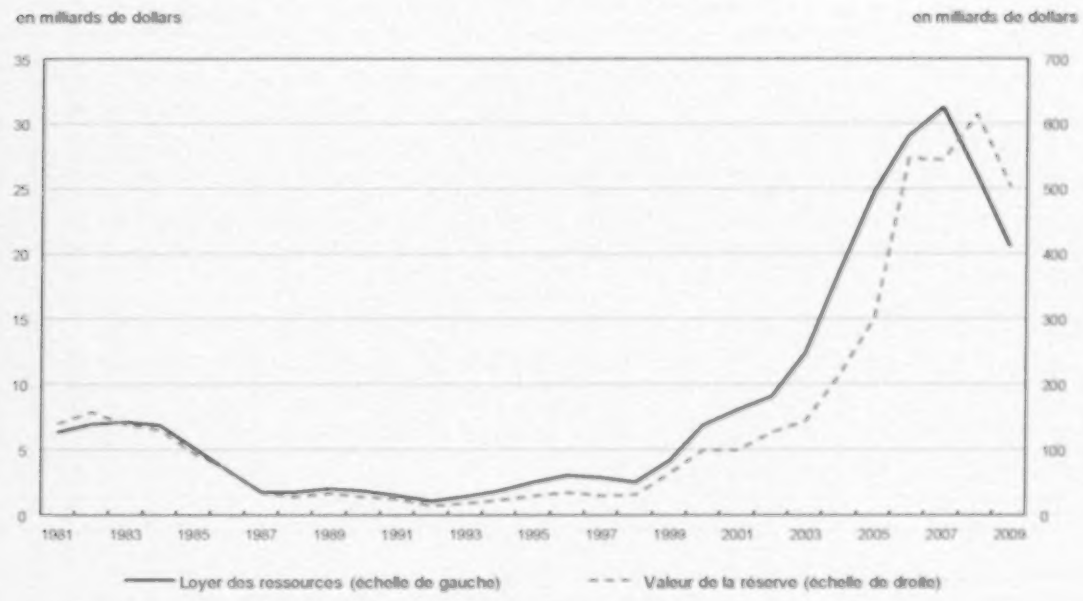


Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données des tableaux CANSIM 153-0012, 153-0014 et 153-0015.

3.2 Rente des ressources et valeur de la réserve

Le graphique 3 présente la valeur estimative des réserves de pétrole et de gaz et la rente des ressources en pétrole et en gaz entre 1981 et 2009. Comme le montre le graphique, la valeur des réserves et la rente des ressources ont suivi des tendances chronologiques très semblables. Les deux sont restées faibles et stagnantes avant 1999, puis ont augmenté rapidement par la suite. La rente annuelle des ressources a reculé de 2,5 % par an entre 1981 et 1999, puis elle a augmenté de 17,7 % par an de 1999 à 2009. Les taux de croissance correspondants de la valeur de la réserve sur les deux périodes étaient de -4,2 % et 22,9 % par an respectivement.

Graphique 3
Loyer des ressources en pétrole et en gaz et valeur de la réserve, 1981 à 2009

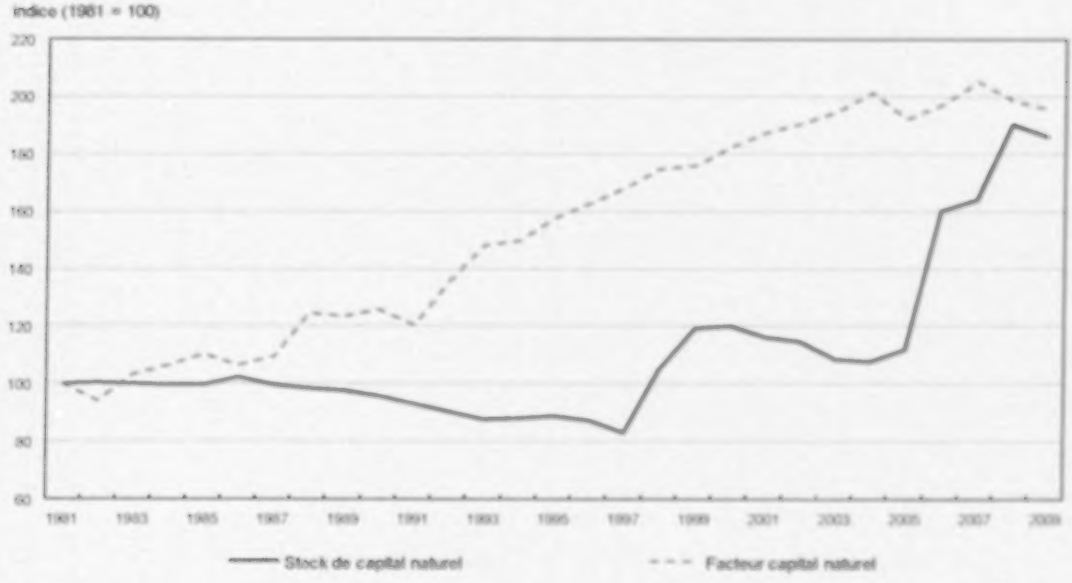


Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données de la base de données KLEMS et des comptes de l'environnement.

3.3 Stock du capital naturel et facteur capital naturel

Le facteur capital naturel dans cette industrie a connu une tendance constante à la hausse sans interruption majeure (graphique 4). Il a augmenté de 2,4 % par an en moyenne entre 1981 et 2009. Parallèlement, le stock de capital naturel et le facteur capital naturel ont suivi des tendances très différentes au fil du temps. Le stock de capital naturel a diminué graduellement d'environ 17 % avant 1997, reflétant la tendance à la baisse des réserves de gaz naturel et de pétrole brut. Après 1997, le stock de capital naturel a affiché une tendance chronologique semblable à celle du bitume brut. Il a beaucoup augmenté de 1997 à 1999 et après 2005 et a affiché une baisse modérée de 2000 à 2005.

Graphique 4
Tendance du stock de capital naturel en pétrole et en gaz et facteur capital naturel, 1981 à 2009



Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données de la base de données KLEMS et les comptes de l'environnement.

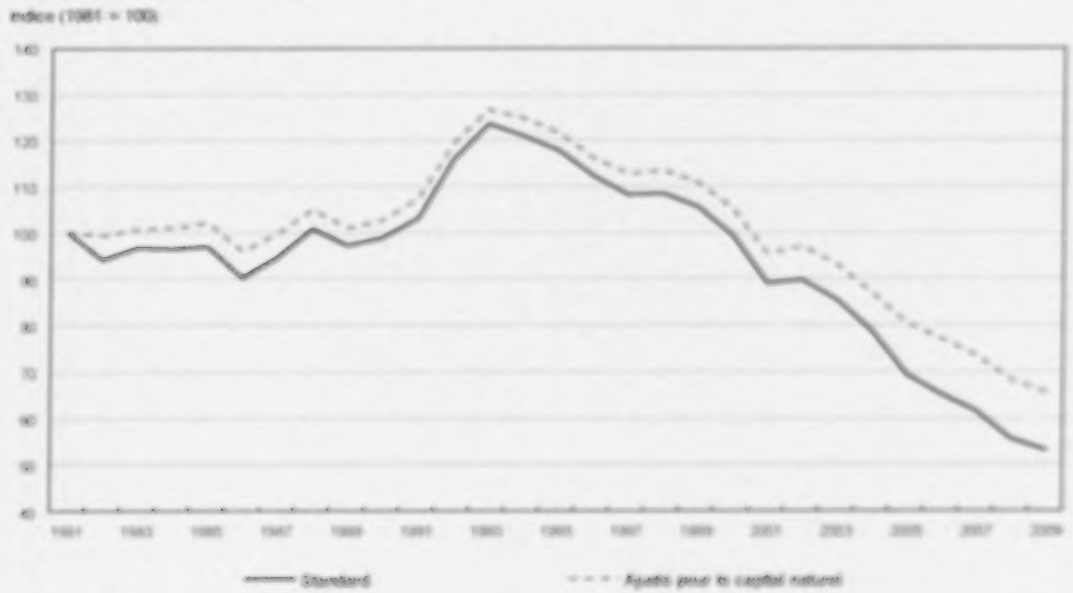
3.4 Croissance de la productivité multifactorielle

Dans le cadre comptable de la croissance, l'ajout de capital naturel n'a aucune incidence sur la croissance (valeur ajoutée) de la production ou la contribution du facteur travail. Cependant, comme la part du revenu et, par conséquent, la contribution du facteur capital produit seront réduites, la croissance de la PMF serait touchée si les facteurs capital produit et capital naturel n'augmentaient pas au même rythme.

Comme le montre le graphique 5, la croissance de la PMF dans l'extraction de pétrole et de gaz était positive avant 1993 et est devenue largement négative après 1993. Il est à noter que l'ajout du capital naturel au cadre comptable de la croissance a peu d'incidence sur la tendance de la croissance de la PMF au fil du temps. Après ajustement pour le capital naturel, la croissance annuelle de la PMF passe de 1,8 % à 2,0 % avant 1993 et de -5,1 % à -4,0 % après 1993.

Dans l'ensemble, lorsque les ressources souterraines sont incluses, la PMF recule de 1,5 % par an de 1981 à 2009, alors qu'elle diminuerait de 2,2 % sans ces ressources.

Graphique 6
Autres mesures de la productivité multifactorielle, industrie de l'extraction de pétrole et de gaz, 1981 à 2009



Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données de la base de données KLEMS et les comptes de l'environnement.

3.5 Contribution du capital naturel à la croissance de la valeur ajoutée

La contribution du facteur capital naturel à la croissance de la valeur ajoutée de l'industrie est modérée dans le secteur de l'extraction de pétrole et de gaz. De 1981 à 2009, la croissance logarithmique de la valeur ajoutée dans le secteur de l'extraction de pétrole et de gaz était d'environ 2,3 % par an, dont environ 0,3 point de pourcentage ou 15 % par an était attribuable à la croissance du facteur capital naturel (tableau 1).

Tableau 1
Source de la croissance de la valeur ajoutée, et croissance de la productivité multifactorielle, industrie de l'extraction de pétrole et de gaz, périodes choisies, 1981 à 2009

	Période		
	1981 à 2009	2000 à 2008	1981 à 2009
	pourcentage		
Croissance de la valeur ajoutée (log), moyenne annuelle	3,22	0,39	2,31
Contribution	points de pourcentage		
Facteur travail	0,08	0,94	0,32
Facteur capital produit	2,45	4,64	3,16
Facteur capital naturel	0,43	0,16	0,34
Productivité multifactorielle	0,26	-5,25	-1,51
Croissance (log) de la productivité multifactorielle, moyenne annuelle avant l'ajout du capital naturel	pourcentage		
	-0,04	-6,96	-2,27

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données de la base de données KLEMS et les comptes de l'environnement.

4 Conclusion

Pour comptabiliser les ressources énergétiques et minérales souterraines comme facteur capital dans le processus de production, nous présentons dans ce document un cadre comptable de la croissance qui permet de mesurer le stock de capital naturel et le facteur capital naturel dans les industries minières et de mieux comprendre la contribution du capital naturel à la croissance économique ainsi que l'incidence de l'ajout du capital naturel sur la mesure de la productivité.

Les résultats empiriques indiquent que le capital naturel apporte une contribution importante à la croissance économique de la valeur ajoutée réelle dans l'industrie canadienne de l'extraction de pétrole et de gaz. L'incidence de l'inclusion du capital naturel dans la comptabilisation de la croissance sur la croissance mesurée de la PMF change toutefois avec le temps. Elle est faible avant 1993 et augmente par la suite.

5 Annexe

Tableau 1 de l'annexe
Sensibilité de la valeur du capital naturel au taux d'actualisation réel, industrie de l'extraction de pétrole et de gaz, moyenne, 1981 à 2009

	Valeur à un taux d'actualisation de 8 % divisée par la valeur à un taux d'actualisation de 4 %
	ratio
Total	1,49
Gaz naturel	1,39
Pétrole brut	1,21
Bitume brut	1,60

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données de la base de données KLEMS et les comptes de l'environnement.

Tableau 2 de l'annexe
Répartition du coût des facteurs et croissance des facteurs, industrie de l'extraction de pétrole et de gaz, périodes sélectionnées, 1981 à 2009

	Période		
	1981 à 2009	2000 à 2008	1981 à 2009
	pourcentage		
Répartition des coûts moyens annuels			
Travail	12,90	8,90	11,90
Capital produit	70,90	68,90	69,90
Capital naturel	16,10	22,10	18,70
Croissance (log) annuelle moyenne des facteurs			
Travail	1,87	5,17	4,22
Capital produit	3,37	7,17	6,73
Capital naturel	0,18	0,79	2,40

Sources : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données de la base de données KLEMS et les comptes de l'environnement.

Bibliographie

Baldwin, J. R., et W. Gu. 2007. *La productivité multifactorielle au Canada : une évaluation de diverses méthodes d'estimation des services de capital*. La revue canadienne de productivité, nº 9. Produit nº 15-206-X au catalogue de Statistique Canada. Ottawa : Statistique Canada.

Brandt, N., P. Schreyer, et V. Zipperer. 2013. *Productivity Measurement with Natural Capital*. Département des affaires économiques, Organisation de coopération et de développement économiques. Document de travail nº 1092. Paris : OCDE.

Christensen, L.R., et D.W. Jorgenson. 1969. « The measurement of U.S. real capital input, 1929-1967 ». *Review of Income and Wealth* 15 : 293 à 320.

Commission européenne, Fonds monétaire international, Organisation de coopération et de développement économiques, Nations Unies, et Banque mondiale. 2009. *Système de comptabilité nationale 2008*. New York : Nations Unies.

Hotelling, H. 1931. « The economics of exhaustible resources ». *Journal of Political Economy* 39 (2) : 137 à 175.

Kendrick, J.W. 1976. *The Formation and Stocks of Total Capital*. New York : National Bureau of Economic Research.

Kronenberg, T. 2009. « Should we worry about the failure of the Hotelling rule? ». *Journal of Economic Surveys* 23 (4) : 779 à 793.

Livernois, J. 2009. « On the empirical significance of the Hotelling rule ». *Review of Environmental Economics and Policy* 3 (1) : 22 à 41.

Miller, M.H., et C.W. Upton. 1985. « A test of the Hotelling valuation principle ». *Journal of Political Economy* 93 (1) : 1 à 25.

Nations Unies, Commission européenne, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Fonds monétaire international, Organisation de coopération et de développement économiques, et Banque mondiale. 2014. *Système de comptabilité économique et environnementale 2012 : cadre central*. New York : Nations Unies.

Solow, R.M. 1974. « The economics of resources or the resources of economics ». *The American Economic Review* 64 (2) : 1 à 14.

Statistique Canada. 2008. *Concepts, sources et méthodes du Système des comptes de l'environnement et des ressources du Canada*. Division des comptes et de la statistique de l'environnement, Système de comptabilité nationale. Produit nº 16-505-G au catalogue de Statistique Canada. Ottawa : Statistique Canada.

Valdhuizen, E., W. de Haan, M. Tamminen, et W. van Rooijen-Horsten. 2012. *The Dutch Growth Accounts: Measuring Productivity With Non-Zero Profits*. Document présenté à la 32e conférence générale de l'Association internationale de recherches sur le revenu et la fortune, Boston, 5 au 11 août 2012.